昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, January 2014, 57(1): 45 – 51 ISSN 0454-6296

苯并噻唑对不同虫态韭菜迟眼蕈蚊的生物活性

陈澄宇，赵云贺，李 慧，张 鹏，慕 卫，刘 峰*
（山东农业大学植物保护学院，山东省农药毒理与应用技术重点实验室，山东泰安 271018）

摘要：【目的】明确室内条件下挥发性化合物苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang 的生物活性。【方法】采用三角瓶密闭熏蒸法测定了苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫、卵、幼虫和蛹的熏蒸活性；利用 Oxytherm 氧电极研究了苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫呼吸速率的影响；利用"Y"型嗅觉仪测定了韭菜迟眼蕈蚊成虫对苯并噻唑的行为反应。【结果】苯并噻唑对雌雄成虫处理 0.5 ~ 2.0 h 的 LC_{50} 分别为 0.186 ~ 0.052 和 0.163 ~ 0.039 μL/L；在 0.01 ~ 0.13 μL/L 剂量下对卵熏蒸处理 24 h，第 6 天卵孵化率为 4.83% ~ 82.39%，而对照组孵化率为 96.97%；苯并噻唑熏蒸 4 龄幼虫 6 ~ 72 h 的 LC_{50} 变化范围为 1.247 ~ 0.248 μL/L；0.01 ~ 0.09 μL/L 剂量熏蒸蛹 24 h，第 5 天的羽化率为 8.17% ~ 69.63%，对照组羽化率为 96.23%。用 0.052 和 0.039 μL/L 浓度分别处理雌雄成虫测定 2.5 h 内呼吸速率的变化，表现为处理组初始呼吸速率明显高于对照组，然后逐渐降低至与对照组持平，最后明显低于相同处理时间对照组呼吸速率。"Y"型嗅觉仪测定结果表明，苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫有较强的引诱作用。在 0.5 L/min 空气流速条件下，0.5 μL 的苯并噻唑对雌雄成虫的引诱率分别为 88.33% 和 78.33%。【结论】苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊各虫态有很好的毒杀效果，并对成虫有强烈的引诱作用。

关键词：韭菜迟眼蕈蚊；苯并噻唑；熏蒸毒性；呼吸速率；嗅觉反应
中图分类号：Q965.9 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2014)01-0045-07

Biological activity of benzothiazole against *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) at different developmental stages

CHEN Cheng-Yu, ZHAO Yun-He, LI Hui, ZHANG Peng, MU Wei, LIU Feng* (Key Laboratory of Pesticide Toxicology & Application Technique, College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: 【Aim】The biological activity of benzothiazole on *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang was assessed in the laboratory. 【Methods】The biological activity of benzothiazole against adults, eggs, larvae and nymphs of *B. odoriphaga* was detected with fumigation method, the inhibition of benzothiazole on the respiratory rate of *B. odoriphaga* adults was tested with an Oxytherm system, and the behavioural response of *B. odoriphaga* adults to benzothiazole was measured with Y-tube olfactometer. 【Results】The results showed that the LC_{50} values of benzothiazole against female and male adults were 0.186 – 0.052 and 0.163 – 0.039 μL/L at 0.5 – 2.0 h after treatment, respectively. After fumigation with 0.01 – 0.13 μL/L benzothiazole for 24 h, the egg hatching rate of *B. odoriphaga* at 6 d after treatment was 4.83% – 82.39%, while that of the control was 96.97%. The LC_{50} value of benzothiazole against the 4th-instar larvae at 6 – 72 h after treatment was 1.247 – 0.248 μL/L. After fumigation with 0.01 – 0.09 μL/L benzothiazole for 24 h, the eclosion rate of pupae was 8.17% – 69.63% at 5 d after treatment, and that of the control was 96.23%. After the female and male adults were treated with 0.052 and 0.039 μL/L benzothiazole for 2.5 h, respectively, their respiratory rates were higher than that of the control group first, then decreased to the comparable level of the control group, and finally were significantly lower than that of the control group. Benzothiazole also showed good luring activity to adults, and the attraction rates to female and male adults were 88.33% and 78.33% at the dose of 0.5 μL at 0.5 L/min air velocity, respectively. 【Conclusion】Benzothiazole has strong fumigation toxicity to *B. odoriphaga* at various developmental stages and distinct luring activity to its adults.

Key words: *Bradysia odoriphaga*; benzothiazole; fumigation toxicity; respiratory rate; olfactory response

基金项目：公益性行业（农业）科研专项经费（201303027）
作者简介：陈澄宇，男，1989 年 1 月生，山东潍坊人，硕士研究生，研究方向为昆虫毒理及行为学，E-mail：chenchengyu@126.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：fliu@sdau.edu.cn
收稿日期 Received：2013-08-19；接受日期 Accepted：2013-11-21

韭菜迟眼蕈蚊 *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang，俗称韭蛆，属眼蕈蚊科迟眼蕈蚊属，是韭菜等百合科蔬菜的重要害虫(梅增霞等，2003)，其主要寄主是韭菜、大蒜、大葱和洋葱，其次还有菊科、藜科、十字花科、葫芦科和伞形科等6科30多种蔬菜(杨景娟等，2006)。韭菜迟眼蕈蚊在保护地危害尤其严重，其幼虫主要取食韭菜的根茎和鳞茎，是造成目前韭菜减产的主要原因之一(薛明等，2002)。该虫喜群居在韭菜鳞茎处咬食，造成韭菜大量死亡，严重影响韭菜的产量和质量(慕卫等，2002)。目前，在田间一般使用毒死蜱、辛硫磷等化学药剂全田冲施防治幼虫，用药量大，效果有限且易引起菜田农药残留污染。因此，亟待寻找更简便有效的药剂防治方法。

挥发性化合物广泛存在于植物精油和微生物次生代谢物质中，对昆虫具有驱避、拒食、引诱、触杀、熏蒸、抑制生长发育等生物活性(杨念婉，2007；Zhao *et al*., 2011)。利用挥发性化合物熏蒸处理在防治地下害虫及储粮害虫上已得到广泛应用。从3种蒿属植物中提取出的精油对谷象 *Sitophilus granarius* (L.)有熏蒸作用(Kordali *et al*., 2006)，水菖蒲活性物质 β-细辛醚对玉米象 *Sitophilus zeamais* Motschulsky、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Herbst)等储粮害虫均有较好的熏蒸作用(姚英娟等，2009)。苯并噻唑存在于真菌 *Aspergillus clavatus* (Seifert and King, 1982)和 *Polyporus frondosus* (Gailois *et al*., 1990)以及细菌 *Bacillus subtilis* (Liu *et al*., 2009)和 *Paenibacillus polymyxa* (Zhao *et al*., 2011)的挥发性成分中。Fernando(2005)研究发现其可以完全抑制核盘菌菌丝生长及菌核萌发。Liu 等(2009)及其后续研究中发现苯并噻唑对马铃薯腐烂茎线虫 *Ditylenchus destructor* 有很好的熏蒸活性，表现出强烈的杀线虫活性。Zhao 等(2011)发现多粘类芽孢杆菌挥发性成分中的苯并噻唑对赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 有较好熏蒸活性，其 LC_{50} 为3.50 mg/L。目前，苯并噻唑可作为食用香精使用，未见用于韭菜迟眼蕈蚊防治的报道。

本研究测定了苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊各虫态的熏蒸毒性，在此基础上利用氧电极 Oxytherm 测定了其致死中浓度对成虫呼吸速率的影响，同时结合“Y”型嗅觉仪研究了苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫行为的影响，初步明确了苯并噻唑的作用性质，为该类化合物的进一步研究和评价提供依据。

1 材料和方法

1.1 试虫

供试虫源：于2012年11月将采自章丘韭菜大棚带有幼虫和卵的根和地下茎，带回室内人工饲养，采用慕卫等(2003)报道的韭菜迟眼蕈蚊人工饲养方法扩大繁殖后供试。饲养条件：温度25±1℃，相对湿度75%，自然光。

1.2 供试药剂

99%苯并噻唑(百灵威化学技术有限公司)。

1.3 苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫的熏蒸毒性测定

采用三角瓶熏蒸法(田雨浓等，2013)。在20℃条件下，通过预实验确定致死浓度范围后，设定5个系列浓度梯度(0.05，0.07，0.09，0.11和0.13 μL/L)，分别用移液枪滴在系有细线的2 cm ×2 cm滤纸上，再将滤纸放入3.75 L三角瓶中后用封口膜将瓶口密封，用于进行熏蒸处理。雌雄分别处理，每个处理浓度将约50头试虫放于三角瓶中，重复4次，并设不加苯并噻唑的处理为空白对照，处理温度为20℃，分别于熏蒸0.5，1，1.5和2.0 h后统计死亡数。

1.4 苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊卵、幼虫、蛹的熏蒸毒性测定

采用熏蒸盒法：在20℃条件下，于10 L熏蒸盒内，沿对角线固定一根细铜丝。将滴有定量苯并噻唑的滤纸条悬挂在细铜丝上，避免接触盒底。将盛有卵、幼虫、蛹的培养皿置于盒底，分别进行熏蒸处理。卵熏蒸试验设置浓度分别为0.01，0.04，0.07，0.10和0.13 μL/L，熏蒸24 h后散气，检查第3，4，5，6和7天的孵化率。幼虫熏蒸试验选取4龄幼虫，设置0.20，0.30，0.40，0.50和0.60 μL/L剂量处理，分别熏蒸6，12，24，48和72 h，散气后检查幼虫死亡数。蛹熏蒸试验设置0.01，0.03，0.05，0.07和0.09 μL/L，熏蒸24 h后散气，检查第2，3，4和5天的羽化数。该试验中每个熏蒸盒中取不同虫态的数量约50头，重复5次，设不滴加苯并噻唑的处理为空白对照。

1.5 苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊呼吸速率的影响

采用 Oxytherm 液相氧电极分别测定苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊雌雄成虫呼吸速率的影响。具体测定方法为：分别取不少于60头的雌、雄虫于锥形瓶中，雌、雄虫处理剂量分别为雌雄成虫熏蒸2 h的

LC_{50}进行处理，每次测定时取约 30 头试虫于 Oxygraph 中(Hansatech Oxytherm，Norfolk，England)测定单位时间内呼吸的变化，每次测定其在 2 min 内的呼吸速率，每 30 min 测定一次，每次设定一个对照组，重复 3 次，取平均值，连续测定直至大部分试虫死亡。测定温度 20℃。对照组不用苯并噻唑处理。绘制变化柱状图，与对照组进行比较分析其变化趋势。

1.6　苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊的引诱作用

使用"Y"型嗅觉测定仪测定(薛明等，2002)。测定开始前，开启实验室的排气扇换气 2 h。测试时，以 2 cm^2 滤纸上滴加挥发物作为气味源放于味源瓶内，对照瓶内不加物质。调节气体流量为 500 mL/min。测定温度为 20℃，恒温。试虫为未经熏蒸处理的未交配雌雄成虫。每一处理 10 头成虫，重复 6 次。

1.7　数据处理

采用 DPS 数据处理系统软件进行分析，用极值分析法分别求出雌雄成虫及 4 龄幼虫在不同处理时间的 LC_{50}和 LC_{95}。

孵化率、羽化率经过反正弦转换后，运用 Duncan 氏新复极差法分别处理同一时间苯并噻唑熏蒸对韭菜迟眼蕈蚊孵化率、羽化率的影响；呼吸速率进行平方根转换后采用 Duncan 氏新复极差法分别处理雌雄成虫 0.5～2.5 h 的呼吸变化；将成虫嗅觉试验结果中的反应率、引诱率和忌避率进行反正弦转换后，分别利用 Duncan 氏新复极差法进行处理，上述结果均进行显著性分析($P=0.05$)，用 Sigmaplot 12.0 绘图。

$$\text{呼吸速率值(nmol/g·min)} = \text{仪器测量值(nmol/mL·min)} \times \frac{\text{测量体积(mL)}}{\text{测量虫体总重量(g)}};$$

$$\text{反应率(\%)} = \frac{\text{味源管中成虫数量} + \text{对照管中成虫数量}}{\text{测试成虫总数量}} \times 100\%;$$

$$\text{引诱率(\%)} = \frac{\text{味源管中成虫数量}}{\text{测试成虫总数量}} \times 100\%;$$

$$\text{忌避率(\%)} = \frac{\text{对照管中成虫数量}}{\text{测试成虫总数量}} \times 100\%。$$

2　结果与分析

2.1　苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫的熏蒸毒性

苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊雌、雄成虫的熏蒸毒性见表 1。苯并噻唑对雌成虫处理 0.5，1.0，1.5 和 2.0 h 的 LC_{50}分别为 0.186，0.083，0.067 和 0.052 μL/L，对雄成虫的 LC_{50}值相应低于雌成虫。表明雄成虫对该化合物的敏感性高于雌成虫。对雌、雄成虫的 LC_{50}在处理 0.5－1.0 h 均变化较大，但在处理 1.0－2.0 h 变化不大，这表明适当延长熏蒸时间可以显著提高毒杀效果。

表 1　苯并噻唑熏蒸对韭菜迟眼蕈蚊成虫的影响

Table 1　Influence of fumigation with benzothiazole on adults of *Bradysia odoriphaga*

处理时间(h) Treatment time	性别 Sex	斜率 Slope ± *SE*	相关系数 *r*	LC_{50}(95% CL) (μL/L)	LC_{95}(95% CL) (μL/L)	自由度 *df*	卡方值 χ^2
0.5	♀	3.446 ±0.420	0.999	0.186 (0.158－0.241)	0.559 (0.387－1.014)	3	0.023
	♂	3.671 ±0.398	0.995	0.163 (0.144－0.197)	0.457 (0.339－0.724)	3	1.286
1.0	♀	4.380 ±0.309	0.978	0.083 (0.079－0.086)	0.196 (0.176－0.226)	3	10.139
	♂	4.155 ±0.305	0.987	0.071 (0.067－0.075)	0.177 (0.160－0.203)	3	5.306
1.5	♀	3.703 ±0.298	0.990	0.067 (0.063－0.071)	0.187 (0.167－0.220)	3	3.589
	♂	3.454 ±0.307	0.999	0.055 (0.049－0.060)	0.164 (0.147－0.191)	3	0.296
2.0	♀	3.177 ±0.307	0.993	0.052 (0.045－0.057)	0.170 (0.150－0.202)	3	1.403
	♂	2.722 ±0.321	0.965	0.039 (0.031－0.046)	0.159 (0.138－0.195)	3	3.937

2.2　苯并噻唑熏蒸对韭菜迟眼蕈蚊卵、幼虫和蛹的影响

2.2.1　对卵孵化率的影响：由表 2 数据可以看出，随着苯并噻唑浓度的提高，卵的孵化率逐渐降低。第 3 天对照组卵的孵化率为 49.56%，0.13 μL/L 的孵化率为 2.05%。随着时间的延长，第 7 天对照组卵的孵化率已经达到 96.97%，而最高剂量 0.13 μL/L 卵的孵化率仅为 4.83%，明显低于对照孵化

率。可以看出，苯并噻唑对卵的孵化率有比较明显的抑制作用。

此外，实验中还发现高剂量下即使孵化出幼虫，其存活率也较低。

2.2.2 对4龄幼虫的熏蒸毒性：数据分析结果(表3)显示，随着熏蒸时间的延长，LC_{50}逐渐降低，熏蒸6 h，LC_{50}为1.247 μL/L，当熏蒸时间延长到72 h时，LC_{50}仅为0.248 μL/L，说明适当延长熏蒸时间可以起到更好的熏蒸毒杀效果。试验中还发现，当处理剂量高于0.400 μL/L时，幼虫基本停止取食韭菜，并散开不再聚集，而对照组正常聚集取食韭菜。

2.2.3 对蛹羽化率的影响：通过苯并噻唑对蛹的熏蒸试验可以看出(表4)，在相同观察时间下，韭菜迟眼蕈蚊蛹的羽化率随着苯并噻唑浓度的提高明显下降。经苯并噻唑处理的蛹在2，3，4，5 d的羽

表2 苯并噻唑熏蒸对韭菜迟眼蕈蚊卵孵化的影响

Table 2 Influence of fumigation with benzothiazole on egg hatchability of *Bradysia odoriphaga*

浓度(μL/L) Concentration	孵化率 Egg hatchability (%)				
	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d
0	49.56 ±2.97 a	75.91 ±2.64 a	96.10 ±0.44 a	96.97 ±0.53 a	96.97 ±0.53 a
0.01	35.33 ±3.54 b	73.26 ±4.15 b	79.34 ±3.13 b	82.39 ±2.31 b	82.39 ±2.31 b
0.04	21.25 ±1.67 c	39.91 ±3.77 c	42.83 ±4.79 c	65.41 ±1.49 c	66.83 ±0.96 c
0.07	12.58 ±1.44 d	24.35 ±1.85 d	28.02 ±1.53 d	42.75 ±1.00 d	44.08 ±0.96 d
0.10	6.27 ±0.57 e	11.98 ±2.05 e	13.55 ±1.64 e	14.09 ±0.89 e	14.09 ±0.89 e
0.13	2.05 ±0.95 e	3.45 ±0.95 e	4.83 ±1.78 f	4.83 ±1.78 f	4.83 ±1.78 f

表中数据为平均值±标准误；同列数据后不同字母者表示用邓肯新复极差法检验在0.05水平上差异显著。表4同。Data in the table are mean ± *SE*, and those in the same column followed by different letters show significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same for Fig. 4.

表3 苯并噻唑熏蒸对韭菜迟眼蕈蚊4龄幼虫的影响

Table 3 Influence of fumigation with benzothiazole on the 4th instar larvae of *Bradysia odoriphaga*

处理时间(h) Treatment time	斜率 Slope ± *SE*	相关系数 *r*	LC_{50} (95% CL) (μL/L)	LC_{95} (95% CL) (μL/L)	自由度 *df*	卡方值 χ^2
6	2.520 ±0.387	0.986	1.247 (0.931 –2.126)	5.609 (2.977 –18.144)	3	1.471
12	2.054 ±0.310	0.999	1.108 (0.850 –1.779)	7.001 (3.562 –24.157)	3	0.023
24	1.920 ±0.272	0.995	0.803 (0.664 –1.103)	5.771 (3.161 –16.641)	3	0.514
48	1.844 ±0.244	0.977	0.418 (0.378 –0.469)	3.259 (2.033 –7.034)	3	2.792
72	2.028 ±0.246	0.973	0.248 (0.211 –0.278)	1.605 (1.198 –2.563)	3	4.015

表4 苯并噻唑熏蒸对韭菜迟眼蕈蚊蛹羽化率的影响

Table 4 Influence of fumigation with benzothiazole on the eclosion rate of *Bradysia odoriphaga* pupae

浓度(μL/L) Concentration	羽化率 Eclosion rate (%)			
	2 d	3 d	4 d	5 d
0	18.34 ±2.95 a	73.67 ±5.45 a	92.36 ±1.74 a	96.23 ±1.78 a
0.01	10.71 ±1.57 b	53.53 ±3.90 b	67.57 ±2.99 b	69.63 ±3.10 b
0.03	4.96 ±1.51 c	43.99 ±1.70 b	57.81 ±4.71 c	57.81 ±4.71 c
0.05	2.92 ±1.20 c	31.05 ±2.64 c	35.84 ±2.47 d	38.58 ±3.03 d
0.07	2.95 ±1.21 c	12.03 ±3.37 d	22.61 ±1.28 e	22.61 ±1.28 e
0.09	1.85 ±1.15 c	6.21 ±2.14 d	8.17 ±1.48 f	8.17 ±1.48 f

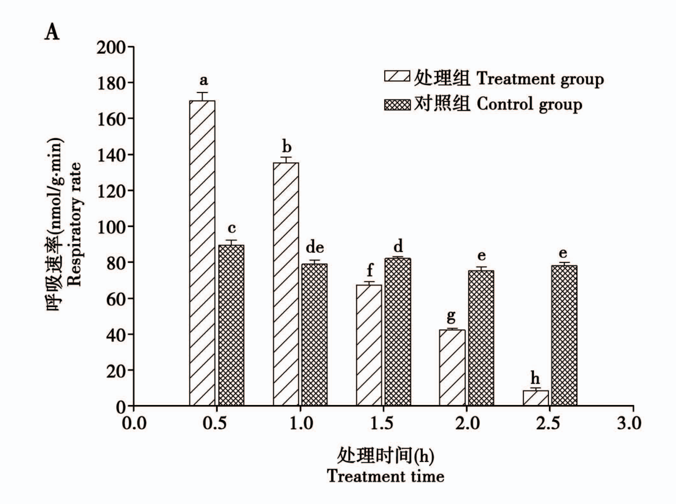
化率都与对照相比有差异。当苯并噻唑浓度为0.09 μL/L 时，韭菜迟眼蕈蚊蛹第 5 天的羽化率仅为 8.17%，与对照（蛹羽化率为 96.23%）相比差异显著。说明苯并噻唑对蛹羽化在很低的剂量下即有很好的抑制作用。

2.3　苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫呼吸速率的影响

测定过程中雌虫用 0.052 μL/L、雄虫用 0.039 μL/L 浓度处理。结果显示与对照相比，苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫的呼吸速率产生了较为明显的影响（图 1）。在 0.5 h 时，处理组成虫的呼吸速率为测定过程中的最大值，随着熏蒸时间的推移，处理组的呼吸速率逐渐下降；在 1.5 h 时，处理组的呼吸速率与对照组接近，随后处理组呼吸速率继续下降，直到 2.5 h 处理组雌、雄成虫的呼吸速率分别为 6.34 和 8.45 nmol/g·min，明显低于相同处理时间的对照组呼吸速率值，整个实验过程中对照组的呼吸速率基本保持不变。

2.4　苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫的引诱作用

苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊未交配成虫嗅觉反应影响明显（表 5），并且同一剂量下雌成虫比雄成虫更加喜好该挥发性气味。当苯并噻唑剂量为 0.5 μL 时，其对雌虫的引诱率达到了 88.33%，对雄成虫的引诱率也达到了 78.33%，表明在该剂量下苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫有较好的引诱作用。随着苯并噻唑剂量的增加，苯并噻唑对成虫的引诱效果逐渐下降，忌避效果逐渐增加。当剂量提升到 5.0 μL 时，其对韭菜迟眼蕈蚊雌雄成虫的引诱效果分别为 45.00% 和 40.00%，忌避效果分别为 40.00% 和 36.67%，表明该剂量下其引诱效果已经大大降低。当剂量到达 10 μL 和 15 μL 时，苯并噻唑对成虫的引诱率已经低于忌避率，在该剂量下已经无法起到较好的引诱作用。



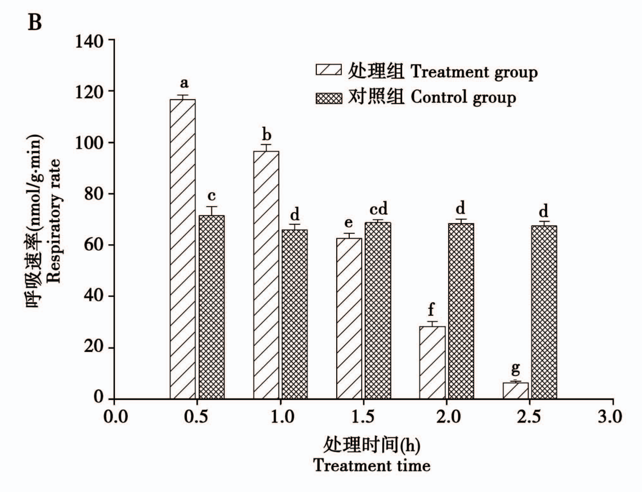


图 1　苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊成虫呼吸速率的影响

Fig. 1　Effect of fumigation with benzothiazole on the respiratory rate of *Bradysia odoriphaga* adults

A：0.039 μL/L 熏蒸剂量下雄成虫的呼吸速率 Respiratory rates of male adults at the dose of 0.039 μL/L；B：0.052 μL/L 熏蒸剂量下雌成虫的呼吸速率 Respiratory rates of female adults at the dose of 0.052 μL/L. 图中数据为平均值 ± 标准差；柱上不同小写字母表示各熏蒸处理和空白对照间差异显著（Duncan 氏检验，$P < 0.05$）。Data in the figure are mean ± *SD*, and those with different small letters above bars are significantly different at the 0.05 level among all fumigation treatments and the blank control by Duncan's test.

3　讨论

近年来，保护地韭菜市场需求增加，经济效益显著，栽培面积逐年扩大，而韭菜迟眼蕈蚊的发生与为害日益严重。由于韭菜迟眼蕈蚊个体小，发生和危害隐蔽性强，防治难度大，传统化学防治方法用药量大，环境风险高，因此韭菜迟眼蕈蚊的无公害治理，一直是我国韭菜生产的难点。

我国保护地韭菜以低矮的拱棚为主，常规喷雾施药难以进行，而冲施农药菜田污染大。挥发性农药以及热稳定农药的烟雾剂由于具有效果好、效率高等优点，在病虫害防治方面显示出一定的优势。传统挥发性化合物如溴甲烷、磷化氢、氯化苦等因对作物安全性低，主要用于储粮害虫以及栽培前土壤及四周环境熏蒸处理，不宜在多年生韭菜田中使用。以挥发性植物精油为代表的绿色熏蒸剂，具有作用方式多样独特、可再生且生物相容性和安全性相对较高等特点，而成为当前植物保护研究的热点。Sampson 等（2005）测试了 23 种植物精油对萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* 的触杀活性。薛明等（2005）

表 5 韭菜迟眼蕈蚊成虫对苯并噻唑的嗅觉反应

Table 5 Olfactory response of adult *Bradysia odoriphaga* to benzothiazole

剂量(μL) Dose	性别 Sex	反应率(%) Response rate	引诱率(%) Attraction rate	忌避率(%) Repellent rate
0.5	♀	93.33 ± 3.33 ab	88.33 ± 3.07 a	5.00 ± 2.24 f
	♂	81.67 ± 1.67 c	78.33 ± 3.07 b	3.33 ± 2.11 f
1.5	♀	85.00 ± 2.24 abc	70.00 ± 2.58 c	15.00 ± 2.24 e
	♂	83.33 ± 3.33 bc	60.00 ± 3.65 d	23.33 ± 3.33 d
2.5	♀	80.00 ± 3.65 c	56.67 ± 3.33 d	23.33 ± 2.11 d
	♂	75.00 ± 4.28 c	46.67 ± 2.11 e	28.33 ± 3.07 d
5.0	♀	85.00 ± 4.28 abc	45.00 ± 2.24 ef	40.00 ± 2.58 bc
	♂	76.67 ± 3.33 c	40.00 ± 2.58 efg	36.67 ± 2.11 c
10	♀	78.33 ± 4.01 c	38.33 ± 3.07 efg	40.00 ± 2.58 bc
	♂	80.00 ± 2.58 c	36.67 ± 2.11 efg	43.33 ± 3.33 bc
15	♀	95.00 ± 2.23 a	43.33 ± 2.11 fg	51.67 ± 1.67 a
	♂	80.00 ± 5.16 c	35.00 ± 3.42 g	45.00 ± 2.24 ab

表中数据为 6 次重复的平均值 ± *SE*；同列数据后不同字母者表示用邓肯新复极差法检验在 0.05 水平上差异显著。Data in the table are means ± *SE* of six duplicates, and those in the same column followed by different letters are significantly different at the 0.05 level by Duncan's multiple range test.

发现大蒜和圆葱的乙醇提取物对韭菜迟眼蕈蚊 1 龄幼虫有触杀活性，并分析硫醚类化合物可能是大蒜和圆葱中含有的杀虫活性物质之一。本研究表明，苯并噻唑对各虫态韭菜迟眼蕈蚊均有较好的熏蒸毒杀作用，其对设施韭菜韭菜迟眼蕈蚊的实际控制效果有待进一步研究和评价。

呼吸代谢是昆虫重要的生理生态特征之一，虫体细胞内呼吸的主要功能是同化食物和释放能量，以供昆虫生命活动的需要(陈爱端等，2011)，呼吸速率的变化能够反映出有毒药剂对昆虫的影响程度。慕卫等(2005)测定经过高效氯氟氰菊酯处理的甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 比未经处理的甜菜夜蛾呼吸速率要高。本研究中，韭菜迟眼蕈蚊成虫与 LC_{50}剂量的苯并噻唑接触后，开始时熏蒸处理组呼吸速率明显高于对照处理，表现出明显中毒症状；随着时间延长，处理组呼吸速率逐渐与对照组接近，昆虫逐渐进入麻痹状态；随后成虫逐渐死亡，呼吸速率明显降低。这与前面毒力测定时苯并噻唑作用速度较快的结果是一致的。

近年来，挥发性化合物对昆虫行为的影响也受到越来越多的关注。Koschier 等(2000)报道苯甲醛(benzaldehyde)、芳樟醇(linalool)等精油成分对西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 有引诱作用。王萍等(2011)研究了糖醋酒液诱集韭菜迟眼蕈蚊的最佳配比，并发现对乙基苯乙酮和 1，4-二乙酰苯两种化合物能引起韭菜迟眼蕈蚊的电生理反应，但没有通过行为学的方式验证这两种成分是否具有引诱作用。薛明等(2002)发现新鲜韭菜、大蒜干粉乙醇提取物稀释 50 倍对韭菜迟眼蕈蚊雌成虫的引诱率分别为 88.5% 和 88.9%。作为在多种真菌及细菌产物中存在的挥发性成分，本研究发现苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊雌成虫有较高的引诱率，并且与用韭菜和大蒜乙醇提取物的引诱率相差不大，这表明苯并噻唑对韭菜迟眼蕈蚊具有引诱效果。至于这种引诱作用能否用于未来对该类害虫的田间发生监测或是防治，有待进一步研究。

参考文献(References)

Chen AR, Li KB, Yin J, Cao YZ, 2011. Effects of environmental factors on the respiratory metabolism in larvae of *Pleonomus canaliculatus* (Coleoptera: Elateridae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(4): 397 – 403. [陈爱端，李克斌，尹姣，曹雅忠，2011. 环境因子对沟金针虫呼吸代谢的影响. 昆虫学报，54(4): 397 – 403]

Fernando WGD, Ramarathnam R, Krishnamoorthy AS, Savchuk SC, 2005. Identification and use of potential bacterial organic antifungal volatiles in biocontrol. *Soil Biol. Biochem.*, 37(5): 955 – 964.

Gallois A, Gross B, Langlois D, Spinnler HE, Brunerie P, 1990. Influence of culture conditions on production of flavour compounds by 29 ligninolytic Basidiomycetes. *Mycol. Res.*, 94(4): 494 – 504.

Kordali S, Aslan I, Çalmasur O, Cakir A, 2006. Toxicity of essential

oils isolated from three *Artemisia* species and some of their major components to granary weevil, *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Ind. Crops Prod*., 23(2): 162－170.

Koschier EH, De Kogel WJ, Visser JH, 2000. Assessing the attractiveness of volatile plant compounds to western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *J. Chem. Ecol*., 26(12): 2643－2655.

Liu WW, Ji J, Wang C, Mu W, Liu F, 2009. Evaluation and identification of the potential nematicidal volatiles produced by *Bacillus subtilis*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 39(3): 304－309.

Mei ZX, Wu QJ, Zhang YJ, Hua L, 2003. The biology, ecology and management of *Bradysia odoriphaga*. *Entomological Knowledge*, 40(5): 396－398. [梅增霞, 吴青君, 张友军, 花蕾, 2003. 韭菜迟眼蕈蚊的生物学、生态学及其防治. 昆虫知识, 40(5): 396－398]

Mu W, Ding Z, He MH, Guo H, Liu F, 2002. Bioassay technique of *Bradysia odoriphaga* and control to larvae and adults by insecticides. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 17(Suppl.): 12－16. [慕卫, 丁中, 何茂华, 郭红, 刘峰, 2002. 韭菜迟眼蕈蚊的生测方法及防治药剂研究. 华北农学报, 17(增刊): 12－16]

Mu W, Liu F, Jia ZM, He MH, Xiang GF, 2003. A simple and convenient rearing technique for *Bradysia odoriphaga*. *Entomological Journal of East China*, 12(2): 87－89. [慕卫, 刘峰, 贾忠明, 何茂华, 相冠锋, 2003. 韭菜迟眼蕈蚊简便人工饲养技术. 华东昆虫学报, 12(2): 87－89]

Mu W, Wu KM, Guo YY, Zhang WJ, 2005. Comparison of the respiratory rate among different resistant strains of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to *lambda*-cyhalothrin. *Acta Entomologica Sinica*, 48(6): 881－885. [慕卫, 吴孔明, 郭予元, 张文吉, 2005. 不同抗药性品系甜菜夜蛾呼吸速率的比较. 昆虫学报, 48(6): 881－885]

Sampson BJ, Tabanca N, Kirimer N, Demirci B, Baser KHC, Khan IA, Spiers JM, Wedge DE, 2005. Insecticidal activity of 23 essential oils and their major compounds against adult *Lipaphis pseudobrassicae* (Davis) (Aphididae: Homoptera). *Pest Manag. Sci*., 61(11): 1122－1128.

Seifert RM, King ADJ, 1982. Identification of some volatile constituents of *Aspergillus clavatus*. *J. Agric. Food Chem*., 30(4): 786－790.

Tian YN, Ma W, Wei QH, Luo S, Han XY, Chen XR, Qiu BJ, Ma L, 2013. Effects of α-terpineol fumigation on the *in vivo* antioxidant activity in *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Acta Entomologica Sinica*, 56(1): 47－53. [田雨浓, 马伟, 韦庆慧, 罗帅, 韩旭洋, 陈旭日, 邱本军, 马玲, 2013. α-萜品醇熏蒸对大麦虫体内抗氧化酶活性的影响. 昆虫学报, 56(1): 47－53]

Wang P, Qin YC, Pan PL, Li PY, 2011. The analysis of the volatile component from the sugar-acetic acid-ethanol water solutions and their trapping effects on *Bradysia odoriphaga*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 38(6): 513－520. [王萍, 秦玉川, 潘鹏亮, 李鹏燕, 2011. 糖醋酒液对韭菜迟眼蕈蚊的诱杀效果及其挥发物活性成分分析. 植物保护学报, 38(6): 513－520]

Xue M, Pang YH, Wang CX, Li Q, 2005. Biological effect of liliaceous host plants on *Bradysia odoriphaga* Yang *et* Zhang (Diptera: Sciaridae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(6): 914－921. [薛明, 庞云红, 王承香, 李强, 2005. 百合科寄主植物对韭菜迟眼蕈蚊的生物效应. 昆虫学报, 48(6): 914－921]

Xue M, Yuan L, Xu ML, 2002. The olfactory response of adults to volatiles and compare of toxicity of different insecticides to the adults and larvae of *Bradysia odoriphaga*. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 4(2): 50－56. [薛明, 袁林, 徐曼琳, 2002. 韭菜迟眼蕈蚊成虫对挥发性物质的嗅觉反应及不同杀虫剂的毒力比较. 农药学学报, 4(2): 50－56]

Yang JJ, Meng QJ, Xu YY, Liu GL, Zheng FQ, 2006. Sex differentiation of *Bradysia odoriphaga* and the ecological and evolutionary significance. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(4): 470－473. [杨景娟, 孟庆俭, 许永玉, 刘桂林, 郑方强, 2006. 韭菜迟眼蕈蚊的性别分化及其生态与进化意义. 昆虫知识, 43(4): 470－473]

Yang NW, Li AL, 2007. Advances in the research of plant essential oils for pest control. *Plant Protection*, 33(6): 16－21. [杨念婉, 李艾莲, 2007. 植物精油应用于害虫防治研究进展. 植物保护, 33(6): 16－21]

Yao YJ, Cai WL, Yang CJ, Zhang HY, Hua HX, 2009. Fumigant toxicity of β-asarone extracted from *Acorus calamus* against four stored grain beetles. *Acta Entomologica Sinica*, 52(4): 453－460. [姚英娟, 蔡万伦, 杨长举, 张宏宇, 华红霞, 2009. 水菖蒲活性物质β-细辛醚对四种储粮害虫的熏蒸活性. 昆虫学报, 52(4): 453－460]

Zhao LJ, Yang XN, Li XY, Mu W, Liu F, 2011. Antifungal, insecticidal and herbicidal properties of volatile components from *Paenibacillus polymyxa* Strain BMP-11. *Agric. Sci. China*, 10(5): 728－736.

(责任编辑: 赵利辉)